

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и  
учреждений  
(направленность (профиль)/специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Реконструкция электрооборудования и электрохозяйства  
культурного центра»

Студент

А.В. Высокос

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

## Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы – реконструкция электрооборудования и электрохозяйства культурного центра.

Список задач по представленной теме:

- выбор светильников и расчет освещения безопасности и эвакуационного;
- расчет нагрузок электроснабжения кинотеатра, а также перерасчет, с учетом распределения по распределительным пунктам;
- выбор трансформаторной подстанции для преобразования электрической энергии, необходимой для питания кинотеатра;
- выбор оборудования электроснабжения кинотеатра, опираясь на расчетные токи и токи короткого замыкания;
- выбор и расчет системы заземления.

Пояснительная записка представлена на 53 страницах, содержит 7 разделов, а так же введение, заключение и список используемых источников, включает в себя 17 таблиц, 7 рисунков и графическую часть, состоящую из 6 чертежей формата А1.

## **Abstract**

The topic of the graduation project is the reconstruction of cultural center power supply.

The list of tasks for the presented topic:

- the choice of safety and emergency lighting;
- calculation of cinema power supply loads, as well as recalculation, which based on distribution by distribution points;
- the choice of transformer substation for transforming electrical energy for cinema consumers;
- the choice of cinema power supply equipment, which based on rated currents and short circuit currents;
- the choice and calculation of the grounding system.

The explanatory note is presented on 53 pages, contains 7 sections, as well as an introduction, conclusion and list of references, includes 17 tables, 7 figures and a graphic part on 6 A1 sheets.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 Расчет количества светильников аварийного освещения безопасности и эвакуационного.....	6
2 Определение суммарной электрической нагрузки .....	10
3 Выбор трансформаторной подстанции .....	17
4 Выбор и обоснование схемы электроснабжения культурного центра .....	19
5 Выбор электрооборудования .....	27
5.1 Выбор автоматических выключателей .....	27
5.2 Выбор проводников .....	31
5.3 Выбор трансформаторов тока.....	36
6 Расчет токов короткого замыкания .....	37
7 Расчет заземления .....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	52

## Введение

Кинотеатр – это здание или помещение, которое специально оборудовано для просмотра кинофильмов.

На сегодняшний день кинотеатры являются неотъемлемой частью досуга современного человека. По статистике за один день один кинозал посещает около сотни человек, а если в кинотеатре расположено несколько кинозалов, то данное количество возрастает до нескольких сотен посетителей.

Массовость посещения данного рода заведений накладывает ответственность за безопасность большого количества людей на владельцев помещений кинотеатров. Большую роль в безопасности посетителей кинотеатра играет надежность и безопасность электроснабжения здания, в котором он расположен.

В ВКР рассматривается реконструкция электроснабжения здания, в котором, помимо двух кинозалов, находятся торговые залы, бар и летнее кафе, которые ежедневно принимает еще большее количество людей, чем оба кинозала.

Главными требованиями реконструкции электроснабжения кинотеатра являются установка освещения безопасности и эвакуационного и двухтрансформаторной ТП с устройством АВР. Данные требования прописаны в главе 7.2 ПУЭ. Эти требования направлены на осуществление бесперебойного электроснабжения потребителей, а так же на увеличение безопасности нахождения людей на территории кинотеатра.

По требованиям главы 7.1 ПУЭ в здании должна использоваться система заземления TN-C-S, для чего от ВРУ прокладывается РЕ проводник. Данное нововведение делает пользование электрическими приборами более безопасным.

Не менее важным моментом работы является выбор и проверка оборудования электроснабжения здания кинотеатра.

## 1 Расчет количества светильников аварийного освещения безопасности и эвакуационного

В реконструкцию электроснабжения кинотеатра входит установка аварийного освещения безопасности и эвакуационного. Данное освещение относится к первой категории надежности, согласно пункту 7.2.11 ПУЭ [1].

Для осуществления освещения будут использоваться светильники модели БС – 881- 8 [11]. Световой поток светильников – 75 лм.

Расчет количества светильников покажем на примере расчета для помещений кассы и кинозала [10].

Характеристики помещения кассы необходимые в расчетах представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики помещения кассы

Наименование	Обозначение, единица измерения	Значение
Длина помещения	A, м	4
Ширина помещения	B, м	2,5
Площадь помещения	S, м <sup>2</sup>	10
Высота помещения	H, м	3,5
Высота подвеса светильников	h <sub>1</sub> , м	0
Высота расчетной поверхности	h <sub>2</sub> , м	0
Коэффициент запаса	k <sub>з</sub> , -	1,25
Требуемая горизонтальная освещенность	E, лк	5

Требуемая горизонтальная освещенность взята, согласно пункту 5.1 ГОСТ Р 55842-2013 [2].

Вначале находится индекс помещения кассы по формуле (1.1):

$$i = \frac{S}{(H-h_1-h_2)(A+B)}; \quad (1.1)$$

$$i = \frac{10}{(3,5 - 0 - 0)(4 + 2,5)} = 0,44.$$

Исходя из справочных данных светильника, коэффициент использования равен 0,5 для  $k_3=1,25$  и  $i=0,44$ .

Теперь производится расчет количества светильников для помещения кассы по формуле (1.2):

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k_3}{\eta \cdot \Phi}; \quad (1.2)$$

$$N = \frac{5 \cdot 10 \cdot 1,25}{0,5 \cdot 75} = 1,67.$$

Количество светильников для помещения кассы округляется и берется равным двум.

Характеристики помещения кинозала необходимые в расчетах представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристики помещения кассы

Наименование	Обозначение, единица измерения	Значение
Длина помещения	A, м	20
Ширина помещения	B, м	2
Площадь помещения	S, м <sup>2</sup>	40
Высота помещения	H, м	7
Высота подвеса светильников	h <sub>1</sub> , м	3
Высота расчетной поверхности	h <sub>2</sub> , м	0
Коэффициент запаса	k <sub>3</sub> , -	1,25
Требуемая горизонтальная освещенность	E, лк	11,25

Площадь взята исходя из нужд освещения безопасности и эвакуационного. Берутся два прохода по обеим сторонам от зрительных мест длиной 20 м и шириной 1 м, исходя из чего площадь помещения равна 40 м<sup>2</sup>.

Исходя из СНиП 23-05-2010 [3], требуемая горизонтальная освещенность зрительных залов кинотеатров должна быть равна 75 лк. Исходя из пункта 7.2.31 ПУЭ [1], аварийное освещение должно обеспечивать не менее 15% от нормируемой освещенности между сеансами. Опираясь на данные нормы, требуемая горизонтальная освещенность равна 11,25 лк.

Вначале находится индекс помещения кинозала по формуле (1.1):

$$i = \frac{40}{(7 - 3 - 0)(20 + 2)} = 0,45.$$

Исходя из справочных данных светильника, коэффициент использования равен 0,5 для  $k_3=1,25$  и  $i=0,45$ .

Теперь производится расчет количества светильников для помещения кинозала по формуле (1.2):

$$N = \frac{11,25 \cdot 40 \cdot 1,25}{0,5 \cdot 75} = 15.$$

Количество светильников для помещения кинозала берется равным шестнадцати, так как расчет ведется сразу для двух проходов, из-за чего число светильников должно быть кратно двум.

Расчет количества светильников аварийного освещения безопасности и эвакуационного для остальных помещений производится аналогичным образом.

Расчет активной нагрузки светильников аварийного освещения безопасности и эвакуационного для всего здания кинотеатра приводится в таблице 1.3.



Таблица 1.3 – Активная нагрузка светильников аварийного освещения.

Наименование помещений	$P_n$ , Вт	n	$P_{n \text{ сум}}$ , Вт
Цокольный этаж	8	22	0,18
Первый этаж		24	0,19
Киноаппаратные		18	0,144
Красный и синий зал		32	0,3
Итого		96	768

## 2 Определение суммарной электрической нагрузки

Расчет электрической нагрузки будет производиться методом коэффициента спроса. После нахождения расчетной мощности будет найден расчетный ток [5,9].

Для расчета нагрузки и тока одного электроприемника берется мотор из киноаппаратной. Для остальных электроприемников расчеты осуществляются аналогично с помощью таблицы в Microsoft Excel.

В начале, находится суммарная номинальная активная мощность моторов по формуле (2.1):

$$P_{н\ сум} = P_{н} \cdot n; \quad (2.1)$$
$$P_{н\ сум} = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ кВт.}$$

При известном номинальном напряжении и  $\cos\varphi$  мотора, находится номинальный ток по формуле (2.2):

$$I_{н} = \frac{P_{н\ сум}}{\sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot \cos\varphi}; \quad (2.2)$$
$$I_{н} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 0,72 \text{ А.}$$

При известном коэффициенте спроса мотора, находится расчетная активная мощность по формуле (2.3):

$$P_{р} = P_{н\ сум} \cdot k_{с}; \quad (2.3)$$
$$P_{р} = 0,4 \cdot 0,5 = 0,20 \text{ кВт.}$$

При известном  $\text{tg}\varphi$  мотора, находится расчетная реактивная мощность по формуле (2.4):

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi; \quad (2.4)$$

$$Q_p = 0,20 \cdot 0,62 = 0,12 \text{ квар.}$$

Далее находится номинальный расчетный ток по формуле (2.5):

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi}; \quad (2.5)$$

$$I_p = \frac{0,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 0,36 \text{ А.}$$

Теперь переходим к расчету итоговой расчетной мощности всех электроприемников кинотеатра и нахождению итогового расчетного тока.

Итоговая суммарная номинальная активная мощность, итоговая расчетная активная мощность и итоговая расчетная реактивная мощность находятся суммированием этих же мощностей каждого электроприемника.

Далее, используя теорему Пифагора, находится итоговая расчетная полная мощность по формуле (2.6):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (2.6)$$

$$S_p = \sqrt{115,25^2 + 48,7^2} = 125,11 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

После этого рассчитывается итоговый косинус  $\varphi$  по формуле (2.7):

$$\cos\varphi = \frac{P_p}{S_p}; \quad (2.7)$$

$$\cos\varphi = \frac{115,25}{125,11} = 0,92.$$

Далее рассчитывается итоговый тангенс  $\varphi$  по формуле (2.8):

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_p}{P_p}; \quad (2.8)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{48,7}{115,25} = 0,42.$$

Теперь, получив все нужные значения, находится итоговый расчетный ток по формуле (2.9):

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi}; \quad (2.9)$$

$$I_p = \frac{115,25}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,92} = 190,32 \text{ A.}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Расчет нагрузки

Наименование электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка расчётная			
	$P_n$ , кВт	n	$P_{n\text{ сум}}$ , кВт	$K_c$	$I_{н.}, A$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$I_{p.}, A$	$P_{p.}$ , кВт	$Q_{p.}$ , квар	$S_{p.}$ , кВА
Цокольный этаж											
Бойлер котельной	2,2	1	2,2	0,6	10,53	0,95	0,33	6,32	1,32	0,43	
Бойлер в администр. помещении	2,2	1	2,2	0,6	10,53	0,95	0,33	2,11	1,32	0,43	
Стиральная машина	2,2	1	2,2	0,3	11,11	0,9	0,48	1,12	0,66	0,32	
Бытовая и оргтехника административных помещений	9	1	9	0,5	15,21	0,9	0,48	7,61	4,5	2,18	
Привод общеобменной вентиляции	2,2	1	2,2	1	11,76	0,85	0,62	11,76	2,2	1,36	
Циркуляционный двигатель котельной	2,2	2	4,4	0,5	7,87	0,85	0,62	3,94	2,2	1,36	
Наддув котельной	3,2	1	3,2	0,8	5,73	0,85	0,62	4,58	2,56	1,59	
Пожарный насос	3,2	2	6,4	1	11,45	0,85	0,62	11,45	6,4	3,97	
Освещение цокол. этажа лампами нак.	0,06	27	1,62	1	2,49	0,99	0,14	2,49	1,62	0,23	
Освещение цокол. этажа лампами люм.	0,04	66	2,64	1	4,72	0,85	0,62	4,72	2,64	1,64	

Продолжение таблицы 2.1

Освещение подсобных помещений цокол. этажа	0,06	12	0,72	1	3,31	0,99	0,14	3,31	0,72	0,10	
Светильники аварийного освещения	0,008	22	0,18	0,3	0,27	0,99	0,14	0,08	0,05	0,01	
Кафе											
Освещение	-	-	0,6	0,65	3,21	0,85	0,62	2,09	0,39	0,24	
Холодильники	-	-	0,6	1	3,00	0,91	0,46	3,00	0,6	0,27	
Водонагреватель	-	-	2	0,8	11,36	0,8	0,75	9,09	1,6	1,2	
Чайник, СВЧ печь	-	-	3	0,95	13,64	1	0	12,95	2,85	0	
Кофемашина, льдогенератор	-	-	3	0,9	13,64	1	0	12,27	2,7	0	
Бар	-	-	65	0,6	311	0,95	0,33	186,6	39	12,82	
Первый этаж											
Вентиляция туалетов	0,5	2	1	1	5,35	0,85	0,62	5,35	1	0,62	
Рукоосушитель	1,8	2	3,6	0,3	17,22	0,95	0,33	5,17	1,08	0,35	
Оборудование буфета	3	1	3	0,6	4,80	0,95	0,33	2,88	1,8	0,59	
Игровые аппараты	0,3	6	1,8	0,6	9,63	0,85	0,62	5,78	1,08	0,67	
Освещение кассового вестибюля	0,04	26	1,04	1	4,78	0,99	0,14	4,78	1,04	0,15	
Освещение фойе	0,04	48	1,92	1	8,82	0,99	0,14	8,82	1,92	0,27	

Продолжение таблицы 2.1

Освещение касс	0,04	4	0,16	1	0,86	0,85	0,62	0,86	0,16	0,10	
Освещение туалетов	0,06	8	0,48	1	2,20	0,99	0,14	2,20	0,48	0,07	
Пожарно-охранная сигнализация	0,5	1	0,5	0,6	2,53	0,9	0,48	1,52	0,3	0,15	
Электрогардероб	1,2	1	1,2	0,5	5,51	0,99	0,14	2,75	0,6	0,09	
Светильники аварийного освещения	0,008	24	0,19	0,3	0,30	0,99	0,14	0,09	0,06	0,01	
Фотостудия и фотомагазин											
Освещение	0,02	68	1,36	0,9	7,27	0,85	0,62	6,55	1,224	0,76	
Кондиционирование	2,2	2	4,4	0,6	7,87	0,85	0,62	4,72	2,64	1,64	
Тепловая завеса	2,2	1	2,2	0,9	11,76	0,85	0,62	10,59	1,98	1,23	
Фотоаппаратура и фотомашины	3,5	2	7	0,4	12,53	0,85	0,62	5,01	2,8	1,74	
Копицентр											
Освещение	0,04	32	1,28	0,9	6,84	0,85	0,62	6,16	1,152	0,71	
Кондиционирование	2,2	1	2,2	0,6	11,76	0,85	0,62	7,06	1,32	0,82	
Тепловая завеса	2,2	3	6,6	0,9	35,29	0,85	0,62	31,76	5,94	3,68	
Уличное освещение											
Козырёк у входа	0,5	1	0,5	0,8	2,53	0,9	0,48	2,02	0,4	0,19	
Освещение плакатов и рекламы	0,25	9	2,25	0,8	3,46	0,99	0,14	2,77	1,8	0,26	

Продолжение таблицы 2.1

Киноаппаратные											
Мотор	0,2	2	0,4	0,5	0,72	0,85	0,62	0,36	0,2	0,12	
Мотор	0,2	2	0,4	0,5	0,72	0,85	0,62	0,36	0,2	0,12	
Усилитель	0,5	2	0,4	0,9	0,76	0,8	0,75	0,68	0,36	0,27	
Лампа ДКСШ	3	2	6	0,5	11,41	0,8	0,75	5,70	3	2,25	
Лампа ДКСШ	3	2	6	0,5	11,41	0,8	0,75	5,70	3	2,25	
Вспомогательное оборудование	0,25	2	0,5	0,9	2,53	0,9	0,48	2,27	0,45	0,22	
Перемоточная	0,2	2	0,4	1	1,91	0,95	0,33	1,91	0,4	0,13	
Освещение к/аппаратной	0,08	8	0,64	1	3,42	0,85	0,62	3,42	0,64	0,40	
Светильники аварийного освещения	0,008	18	0,144	0,3	0,22	0,99	0,14	0,07	0,04	0,01	
Освещение красного и синего залов											
Световой карниз	0,06	192	11,52	0,3	17,70	0,99	0,14	5,31	3,456	0,49	
Потолочные светильники	0,035	68	2,38	0,3	3,66	0,99	0,14	1,10	0,714	0,10	
Прожектора дежурного освещения	0,5	4	2	0,3	9,18	0,99	0,14	2,75	0,6	0,09	
Светильники аварийного освещения	0,008	32	0,3	0,3	0,39	0,99	0,14	0,12	0,08	0,01	
<b>Итого</b>			184,9			0,92	0,42	190,32	115,25	48,70	125,11



### 3 Выбор трансформаторной подстанции

При наличии электроприемников первой категории надежности, питание здания кинотеатра должно осуществляться от двухтрансформаторной подстанции двумя резервируемыми линиями, согласно пункту 7.2.15 ПУЭ [1].

Полная расчетная мощность для определения мощности трансформатора будет увеличена за счет того, что от данной подстанции, помимо кинотеатра, будут запитаны и другие приемники электрической энергии, перечень которых представлен, включая расчет суммарной расчетной мощности, в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Расчет суммарной расчетной мощности

Наименование электроприемников	$S_p$ , кВА
ТЦ «Олимп»	214,7
Ресторан «Арго»	58,9
ТЦ «Кипарис»	115,2
ТЦ «Гедеон»	311,3
Кинотеатр «Рассвет»	125,11
Жилые дома	1213,75
Суммарная мощность	2038,96

В таблице 3.2 приведены данные для расчета мощности трансформаторов [6].

Таблица 3.2 – Данные для расчета мощности трансформаторов

Наименование	Обозначение, единица измерения	Значение
Полная расчетная мощность	$S_p$ , кВА	2038,96
Коэффициент загрузки трансформатора	$K_3$	0,7
Количество трансформаторов	$N_T$ , шт.	2

Мощность трансформаторов находится по формуле (3.1):

$$S_T \geq \frac{S_P}{K_3 \cdot N_T}; \quad (3.1)$$
$$S_T \geq \frac{2038,96}{0,7 \cdot 2} = 1456,4 \text{ кВА.}$$

Выбирается двухтрансформаторная подстанция с трансформаторами ТМГФ-СЭЦ 1600/10/0,4. Характеристики выбранных трансформаторов представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристики ТМГФ-СЭЦ 1600/10/0,4

$U_{ВН}$ , кВ	$U_{НН}$ , кВ	$S_T$ , кВА	$\Delta P_{XX}$ , кВт	$\Delta P_{K3}$ , кВт	$u_K$ , %	$i_{XX}$ , %
10	0,4	1600	1,95	16,5	6	1

#### **4 Выбор и обоснование схемы электроснабжения культурного центра**

Для передачи электрической энергии кинотеатру, выбрана двухтрансформаторная подстанция с устройством АВР. От подстанции питание будет приходиться на ВРУ кинотеатра по двум кабелям, которые предстоит выбрать. Каждый из этих кабелей рассчитывается на нагрузку всего здания на случай аварийного режима работы. ВРУ разбивается на две панели, к которым будут приходиться выбранные два кабеля, и коммутируются они между собой автоматическим выключателем, который предстоит выбрать. Коммутация будет производиться обслуживающим персоналом вручную в случае аварийного режима работы.

От панелей питание идет к пунктам распределения электрической энергии, к которым присоединены приемники электрической энергии. Данная схема электроснабжения является радиальной.

От первой панели питаются ШР 1-4, ШР 0-1, ШР 1-3, ШР кафе, ШР бара, РУк-1, РУк-2, ЩУН.

От второй панели питаются ШР 1-2, ШР 1-1, ЩО 0-1, ЩО 0-2, ШВ 0-1, РУк-1, РУк-2, ЩУП. От РУк-1 и РУк-2 питаются ЩОк-1 и ЩОк-2.

Питание РУк-1, РУк-2 осуществляется с обеих панелей. Оборудование и кабели должны обеспечить полную нагрузку РУк-1 и РУк-2 от каждой панели. Данные меры обеспечивают бесперебойное питание в киноаппаратных и кинозалах, в случае отсутствия, по какой бы то ни было причине, питания на одной из панелей.

Расчет нагрузки по пунктам распределения электрической энергии представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Расчет нагрузки по распределительным пунктам

Наименование электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка расчётная			
	$P_n$ , кВт	n	$P_n$ сум, кВт	$K_c$	$I_n$ , А	$\cos \phi$	$\operatorname{tg} \phi$	$I_p$ , А	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
<b>ЩО 0-2</b>											
Бойлер котельной	2,2	1	2,2	0,6	10,53	0,95	0,33	6,32	1,32	0,434	
Освещение цокольного этажа лампами накл.	0,06	9	0,54	1	0,83	0,99	0,14	0,83	0,54	0,077	
Светильники аварийного освещения	0,008	7	0,056	0,3	0,09	0,99	0,14	0,03	0,02	0,002	
<b>Итого по ЩО 0-2</b>			2,796			0,96	0,27	2,96	1,88	0,51	1,95
<b>ЩУН</b>											
Циркуляционный двигатель котельной	2,2	2	4,4	0,5	7,87	0,85	0,6	3,937	2,2	1,363	
Наддув котельной	3,2	1	3,2	0,8	5,73	0,85	0,6	4,581	2,56	1,587	
<b>Итого по ЩУН</b>			7,6			0,85	0,6	8,518	4,76	2,95	5,6
<b>ЩУП</b>											
Пожарный насос	3,2	2	6,4	1	11,5	0,85	0,6	11,45	6,4	3,97	

Продолжение таблицы 4.1

<b>Итого по ЩУП</b>			6,4			0,85	0,6	11,45	6,4	3,97	7,53
<b>ЩО 0-1</b>											
Освещение цокольного этажа лампами нак.	0,06	13	0,78	1	1,2	0,99	0,1	1,198	0,78	0,111	
Освещение цокольного этажа лампами люм.	0,04	6	0,24	1	0,43	0,85	0,6	0,429	0,24	0,149	
Светильники аварийного освещения	0,008	9	0,072	0,3	0,11	0,99	0,14	0,03	0,02	0,003	
<b>Итого по ЩО 0-1</b>			1,092			0,97	0,25	1,634	1,04	0,26	1,07
<b>ШР 0-1</b>											
Бойлер в администр. помещении	2,2	1	2,2	0,6	10,5	0,95	0,3	2,114	1,32	0,434	
Стиральная машина	2,2	1	2,2	0,3	11,1	0,9	0,5	1,116	0,66	0,320	
Бытовая и оргтехника административных помещений	9	1	9	0,5	15,2	0,9	0,5	7,606	4,5	2,179	
Освещение цокольного этажа лампами нак.	0,06	5	0,3	1	0,46	0,99	0,1	0,461	0,3	0,043	
Освещение цокольного этажа лампами люм.	0,04	60	2,4	1	4,29	0,85	0,6	4,295	2,4	1,487	
Светильники аварийного освещения	0,008	6	0,048	0,3	0,07	0,99	0,14	0,02	0,01	0,002	

Продолжение таблицы 4.1

<b>Итого по ШР 0-1</b>			16,148			0,9	0,49	15,55	9,19	4,47	10,22
ШВ 0-1											
Привод общеобменной вентиляции	2,2	1	2,2	1	11,8	0,85	0,6	11,76	2,2	1,363	
<b>Итого по ШВ 0-1</b>			2,2			0,85	0,6	11,76	2,2	1,363	2,59
ШР кафе											
Освещение	-	-	0,6	0,65	3,21	0,85	0,6	2,086	0,39	0,242	
Холодильники	-	-	0,6	1	3	0,91	0,5	2,997	0,6	0,273	
Водонагреватель	-	-	2	0,8	11,4	0,8	0,8	9,091	1,6	1,2	
Чайник, СВЧ печь	-	-	3	0,95	13,6	1	0	12,95	2,85	0	
Кофемашина, льдогенератор	-	-	3	0,9	13,6	1	0	12,27	2,7	0	
<b>Итого по ШР кафе</b>			9,2			0,98	0,21	12,65	8,14	1,72	8,32
ШР 1-2											
Освещение	0,02	68	1,36	0,9	7,27	0,85	0,6	6,545	1,224	0,759	
Кондиционирование	2,2	2	4,4	0,6	7,87	0,85	0,6	4,724	2,64	1,636	
Тепловая завеса	2,2	1	2,2	0,9	11,8	0,85	0,6	10,59	1,98	1,227	
Фотоаппаратура и фотомашины	3,5	2	7	0,4	12,5	0,85	0,6	5,011	2,8	1,735	
Светильники аварийного освещения	0,008	9	0,072	0,3	0,11	0,99	0,14	0,03	0,02	0,003	

Продолжение таблицы 4.1

<b>Итого по ШР 1-2</b>			15,032			0,85	0,62	15,5	8,67	5,36	10,19
<b>Итого по ШР бара</b>	-	-	65	0,6	311	0,95	0,3	186,6	39	12,819	41,05
<b>ШР 1-1</b>											
Игровые аппараты	0,3	6	1,8	0,6	9,63	0,85	0,6	5,775	1,08	0,669	
Освещение кассового вестибюля	0,04	26	1,04	1	4,78	0,99	0,1	4,775	1,04	0,148	
Освещение фойе	0,04	48	1,92	1	8,82	0,99	0,1	8,815	1,92	0,274	
Освещение подсобных помещений цокол. этажа	0,06	12	0,72	1	3,31	0,99	0,1	3,306	0,72	0,103	
Электрогардероб	1,2	1	1,2	0,5	5,51	0,99	0,1	2,755	0,6	0,085	
Светильники аварийного освещения	0,008	11	0,088	0,3	0,14	0,99	0,14	0,04	0,03	0,004	
<b>Итого по ШР 1-1</b>			6,768			0,97	0,24	8,423	5,39	1,28	5,54
<b>ШР 1-4</b>											
Освещение касс	0,04	4	0,16	1	0,86	0,85	0,6	0,856	0,16	0,099	
Освещение	0,04	32	1,28	0,9	6,84	0,85	0,6	6,16	1,152	0,714	
Кондиционирование	2,2	1	2,2	0,6	11,8	0,85	0,6	7,059	1,32	0,818	
Козыр�ек у входа	0,5	1	0,5	0,8	2,53	0,9	0,5	2,02	0,4	0,194	
Освещение плакатов и рекламы	0,25	9	2,25	0,8	3,46	0,99	0,1	2,766	1,8	0,256	

Продолжение таблицы 4.1

Тепловая завеса	2,2	3	6,6	0,9	35,3	0,85	0,6	31,76	5,94	3,681	
Светильники аварийного освещения	0,008	2	0,016	0,3	0,02	0,99	0,14	0,01	0,00	0,001	
<b>Итого по ШР 1-4</b>			13,006			0,88	0,53	18,59	10,78	5,76	12,22
<b>ШР 1-3</b>											
Вентиляция туалетов	0,5	2	1	1	5,35	0,85	0,6	5,348	1	0,62	
Рукоосушитель	1,8	2	3,6	0,3	17,2	0,95	0,3	5,167	1,08	0,355	
Оборудование буфета	3	1	3	0,6	4,8	0,95	0,3	2,882	1,8	0,592	
Пожарно-охранная сигнализация	0,5	1	0,5	0,6	2,53	0,9	0,5	1,515	0,3	0,145	
Освещение туалетов	0,06	8	0,48	1	2,2	0,99	0,1	2,204	0,48	0,068	
Светильники аварийного освещения	0,008	2	0,016	0,3	0,02	0,99	0,14	0,01	0,00	0,001	
<b>Итого по ШР 1-3</b>			8,596			0,93	0,38	7,595	4,66	1,78	4,99
<b>Киноаппаратная РУк-1</b>											
Мотор	0,2	1	0,2	0,5	0,36	0,85	0,6	0,179	0,1	0,062	
Мотор	0,2	1	0,2	0,5	0,36	0,85	0,6	0,179	0,1	0,062	
Усилитель	0,5	1	0,2	0,9	0,38	0,8	0,8	0,342	0,18	0,135	
Лампа ДКСШ	3	1	3	0,5	5,7	0,8	0,8	2,852	1,5	1,125	
Лампа ДКСШ	3	1	3	0,5	5,7	0,8	0,8	2,852	1,5	1,125	



Продолжение таблицы 4.1

Вспомогательное оборудование	0,25	1	0,25	0,9	1,26	0,9	0,5	1,136	0,225	0,109	
Перемоточная	0,2	1	0,2	1	0,96	0,95	0,3	0,957	0,2	0,066	
Освещение к/аппаратной	0,08	4	0,32	1	1,71	0,85	0,6	1,711	0,32	0,198	
Светильники аварийного освещения	0,008	9	0,072	0,3	0,11	0,99	0,14	0,03	0,02	0,003	
<b>ЩОк-1</b>											
Световой карниз	0,06	96	5,76	0,3	8,85	0,99	0,1	2,655	1,728	0,246	
Потолочные светильники	0,035	34	1,19	0,3	1,83	0,99	0,1	0,549	0,357	0,051	
Прожектора дежурного освещения	0,5	2	1	0,3	4,59	0,99	0,1	1,377	0,3	0,043	
Светильники аварийного освещения	0,008	16	0,128	0,3	0,20	0,99	0,14	0,06	0,04	0,005	
<b>Итого по ЩОк-1</b>			8,15			0,99	0,14	3,757	2,45	0,35	2,47
<b>Итого по РУк-1</b>			15,52			0,9	0,49	11,14	6,57	3,23	7,32
<b>Киноаппаратная РУк-2</b>											
Мотор	0,2	1	0,2	0,5	0,36	0,85	0,6	0,179	0,1	0,062	
Мотор	0,2	1	0,2	0,5	0,36	0,85	0,6	0,179	0,1	0,062	
Усилитель	0,5	1	0,2	0,9	0,38	0,8	0,8	0,342	0,18	0,135	
Лампа ДКСШ	3	1	3	0,5	5,7	0,8	0,8	2,852	1,5	1,125	
Лампа ДКСШ	3	1	3	0,5	5,7	0,8	0,8	2,852	1,5	1,125	

Продолжение таблицы 4.1

Вспомогательное оборудование	0,25	1	0,25	0,9	1,26	0,9	0,5	1,136	0,225	0,109	
Перемоточная	0,2	1	0,2	1	0,96	0,95	0,3	0,957	0,2	0,066	
Освещение к/аппаратной	0,08	4	0,32	1	1,71	0,85	0,6	1,711	0,32	0,198	
Светильники аварийного освещения	0,008	9	0,072	0,3	0,11	0,99	0,14	0,03	0,02	0,003	
<b>ЩОк-2</b>											
Световой карниз	0,06	96	5,76	0,3	8,85	0,99	0,1	2,655	1,728	0,246	
Потолочные светильники	0,035	34	1,19	0,3	1,83	0,99	0,1	0,549	0,357	0,051	
Прожектора дежурного освещения	0,5	2	1	0,3	4,59	0,99	0,1	1,377	0,3	0,043	
Светильники аварийного освещения	0,008	16	0,128	0,3	0,20	0,99	0,14	0,06	0,04	0,005	
<b>Итого по ЩОк-2</b>			8,15			0,99	0,14	3,757	2,45	0,35	2,47
<b>Итого по РУк-2</b>			15,52			0,9	0,49	11,14	6,57	3,23	7,32

## 5 Выбор электрооборудования

### 5.1 Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели будем выбирать по номинальному току автомата  $I_{н.а}$ , исходя из условий:

- для линии без электродвигателя:  $I_{н.а} \geq I_p$ ;
- для линии с одним электродвигателем:  $I_{н.а} \geq 1,25 \cdot I_p$ ;
- для групповой линии с несколькими электродвигателями:  $I_{н.а} \geq 1,1 \cdot I_p$ .

Данные выбора сведены в таблицу 5.1 [7,12,13,14].

Таблица 5.1 – Выбор автоматических выключателей

Наименование электроприемников	$I_p$ , А	$1,1 \cdot I_p$ , А	$1,25 \cdot I_p$ , А	$I_{откл}$ , кА	$I_{н.а}$ , А	Марка
ШНН	190,3	209,4	-	50	250	NSX250N
ВРУ	190,3	209,4	-	35	250	ВА 88-35
ЩО 0-2	2,95	-	-	6	3	S 203-C
Бойлер котельной	6,32	-	-	6	8	S 201-C
Освещение цокольного этажа лампами накл.	0,83	-	-	6	1	S 201-C
Светильники аварийного освещения	0,03	-	-	6	0,5	S 201-C
ЩУН	8,52	9,37	-	25	12,5	ВА 88-32
Циркуляционный двигатель котельной	3,94	4,33	-	6	6	S 203-C
Наддув котельной	4,58	-	5,73	6	6	S 203-C
ЩУП	11,5	12,7	-	25	16	ВА 88-32
Пожарный насос	5,73	-	7,16	6	8	S 203-C
ЩО 0-1	1,63	-	-	6	2	S 203-C
Освещение цокольного этажа лампами накл.	1,2	-	-	6	1,6	S 201-C

Продолжение таблицы 5.1

Освещение цокольного этажа лампами люм.	0,43	-	-	6	0,5	S 201-C
Светильники аварийного освещения	0,03	-	-	6	0,5	S 201-C
ШР 0-1	15,6	-	19,5	25	25	BA 88-32
Бойлер в администр. помещении	2,11	-	-	6	3	S 201-C
Стиральная машина	1,12	-	1,4	6	1,6	S 201-C
Бытовая и оргтехника административных помещений	7,6	-	-	6	8	S 201-C
Освещение цокольного этажа лампами нак.	0,46	-	-	6	0,5	S 201-C
Освещение цокольного этажа лампами люм.	4,3	-	-	6	6	S 201-C
Светильники аварийного освещения	0,02	-	-	6	0,5	S 201-C
ШВ 0-1	11,8	-	14,7	25	16	BA 88-32
Привод общеобменной вентиляции	11,8	-	14,7	6	16	S 201-C
ШР кафе	12,7	14	-	25	16	BA 88-32
Освещение	2,09	-	-	6	3	S 201-C
Холодильники	3	3,3	-	6	4	S 201-C
Водонагреватель	10	-	-	6	10	S 201-C
Чайник, СВЧ печь	13	-	-	6	13	S 201-C
Кофемашина, льдогенератор	12,3	13,5	-	6	16	S 201-C
ШР 1-2	15,5	17,1	-	25	25	BA 88-32

Продолжение таблицы 5.1

Освещение	6,55	-	-	6	8	S 201-C
Кондиционирование	4,72	5,19	-	6	6	S 201-C
Тепловая завеса	10,6	-	13,3	6	16	S 201-C
Фотоаппаратура и фотомашины	5,01	-	-	6	6	S 201-C
Светильники аварийного освещения	0,03	-	-	6	0,5	S 201-C
ШР бара	186,6	-	-	35	200	BA 88-35
ШР 1-1	8,42	-	-	25	12,5	BA 88-32
Игровые аппараты	5,78	-	-	6	6	S 201-C
Освещение кассового вестибюля	4,775	-	-	6	6	S 201-C
Освещение фойе	8,82	-	-	6	10	S 201-C
Освещение подсобных помещений цокол. этажа	3,31	-	-	6	4	S 201-C
Электрогардероб	2,76	-	-	6	3	S 201-C
Светильники аварийного освещения	0,04	-	-	6	0,5	S 201-C
ШР 1-4	18,6	20,5	-	25	25	BA 88-32
Освещение касс	0,86	-	-	6	1	S 201-C
Освещение	6,16	-	-	6	8	S 201-C
Кондиционирование	7,06	-	8,83	6	10	S 201-C
Козыр�к у входа	2,02	-	-	6	3	S 201-C
Освещение плакатов и рекламы	2,77	-	-	6	3	S 201-C
Тепловая завеса	10,6	-	13,3	6	16	S 201-C
Светильники аварийного освещения	0,01	-	-	6	0,5	S 201-C

Продолжение таблицы 5.1

ШР 1-3	7,6	8,36	-	25	12,5	BA 88-32
Вентиляция туалетов	5,35	5,89	-	6	6	S 201-C
Рукосушитель	5,17	5,69	-	6	6	S 201-C
Оборудование буфета	2,88	-	-	6	3	S 201-C
Пожарно-охранная сигнализация	1,52	-	-	6	2	S 201-C
Освещение туалетов	2,2	-	-	6	3	S 201-C
Светильники аварийного освещения	0,01	-	-	6	0,5	S 201-C
Киноаппаратная РУк-1,2	11,1	11,3	-	25	12,5	BA 88-32
Мотор	0,18	-	0,23	6	0,5	S 201-C
Мотор	0,18	-	0,23	6	0,5	S 201-C
Усилитель	0,34	-	-	6	0,5	S 201-C
Лампа ДКСШ	2,85	-	-	6	3	S 201-C
Лампа ДКСШ	2,85	-	-	6	3	S 201-C
Вспомогательное оборудование	1,14	-	-	6	1,6	S 201-C
Перемоточная	0,96	-	1,2	6	1,6	S 201-C
Освещение к/аппаратной	1,71	-	-	6	2	S 201-C
Светильники аварийного освещения	0,03	-	-	6	0,5	S 201-C
ЩОк-1,2	3,76	-	-	6	4	S 203-C
Световой карниз	2,66	-	-	6	3	S 201-C
Потолочные светильники	0,55	-	-	6	1	S 201-C
Прожектора дежурного освещения	1,38	-	-	6	1,6	S 201-C
Светильники аварийного освещения	0,06	-	-	6	0,5	S 201-C

## 5.2 Выбор проводников

Выбор марки кабелей осуществляется при условии, что  $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{н.а}} \geq I_p$  и записывается в таблицу 5.2 [7,15,16,17,18].

Таблица 5.2 – Выбор кабелей

Наименование электроприемников	$I_p$ , А	$I_{\text{н.а}}$ , А	$I_{\text{доп}}$ , А	Марка
ВРУ	190,3	250	252	АВБШВ 4х120
ЩО 0-2	2,95	3	21	ВВГнг 5х1,5
Бойлер котельной	6,32	8	21	ВВГнг 3х1,5
Освещение цокольного этажа лампами нак.	0,83	1	21	ВВГнг 3х1,5
Светильники аварийного освещения	0,03	0,5	21	ВВГнг 3х1,5
ЩУН	8,52	12,5	21	ВВГнг 5х1,5
Циркуляционный двигатель котельной	3,94	6	21	ВВГнг 5х1,5
Наддув котельной	4,58	6	21	ВВГнг 5х1,5
ЩУП	11,5	16	21	ВВГнг 5х1,5
Пожарный насос	5,73	8	21	ВВГнг 5х1,5
ЩО 0-1	1,63	2	21	ВВГнг 5х1,5

Продолжение таблицы 5.2

Освещение цокольного этажа лампами нак.	1,2	1,6	21	ВВГнг 3x1,5
Освещение цокольного этажа лампами люм.	0,43	0,5	21	ВВГнг 3x1,5
Светильники аварийного освещения	0,03	0,5	21	ВВГнг 3x1,5
ШР 0-1	15,6	25	27	ВВГнг 5x2,5
Бойлер в администр. помещении	2,11	3	21	ВВГнг 3x1,5
Стиральная машина	1,12	1,6	21	ВВГнг 3x1,5
Бытовая и оргтехника административных помещений	7,6	8	21	ВВГнг 3x1,5
Освещение цокольного этажа лампами нак.	0,46	0,5	21	ВВГнг 3x1,5
Освещение цокольного этажа лампами люм.	4,3	6	21	ВВГнг 3x1,5
Светильники аварийного освещения	0,02	0,5	21	ВВГнг 3x1,5
ШВ 0-1	11,8	16	21	ВВГнг 5x1,5
Привод общеобменной вентиляции	11,8	16	21	ВВГнг 3x1,5
ШР кафе	12,7	16	21	ВВГнг 5x1,5
Освещение	2,09	3	21	ВВГнг 3x1,5



Продолжение таблицы 5.2

Холодильники	3	4	21	ВВГнг 3х1,5
Водонагреватель	10	10	21	ВВГнг 3х1,5
Чайник, СВЧ печь	13	13	21	ВВГнг 3х1,5
Кофемашина, льдогенератор	12,3	16	21	ВВГнг 3х1,5
ШР 1-2	15,5	25	27	ВВГнг 5х2,5
Освещение	6,55	8	21	ВВГнг 3х1,5
Кондиционирование	4,72	6	21	ВВГнг 3х1,5
Тепловая завеса	10,6	16	21	ВВГнг 3х1,5
Фотоаппаратура и фотомашины	5,01	6	21	ВВГнг 3х1,5
Светильники аварийного освещения	0,03	0,5	21	ВВГнг 3х1,5
ШР бара	186,6	200	211	ВВГнг 5х70
ШР 1-1	8,42	12,5	21	ВВГнг 5х1,5
Игровые аппараты	5,78	6	21	ВВГнг 3х1,5
Освещение кассового вестибюля	4,775	6	21	ВВГнг 3х1,5

Продолжение таблицы 5.2

Освещение фойе	8,82	10	21	ВВГнг 3x1,5
Освещение подсобных помещений цокол. этажа	3,31	4	21	ВВГнг 3x1,5
Электрогардероб	2,76	3	21	ВВГнг 3x1,5
Светильники аварийного освещения	0,04	0,5	21	ВВГнг 3x1,5
ШР 1-4	18,6	25	27	ВВГнг 5x2,5
Освещение касс	0,86	1	21	ВВГнг 3x1,5
Освещение	6,16	8	21	ВВГнг 3x1,5
Кондиционирование	7,06	10	21	ВВГнг 3x1,5
Козырёк у входа	2,02	3	21	ВВГнг 3x1,5
Освещение плакатов и рекламы	2,77	3	21	ВВГнг 3x1,5
Тепловая завеса	10,6	16	21	ВВГнг 3x1,5
Светильники аварийного освещения	0,01	0,5	21	ВВГнг 3x1,5
ШР 1-3	7,6	12,5	21	ВВГнг 5x1,5
Вентиляция туалетов	5,35	6	21	ВВГнг 3x1,5

Продолжение таблицы 5.2

Рукосушитель	5,17	6	21	ВВГнг 3x1,5
Оборудование буфета	2,88	3	21	ВВГнг 3x1,5
Пожарно-охранная сигнализация	1,52	2	21	ВВГнг 3x1,5
Освещение туалетов	2,2	3	21	ВВГнг 3x1,5
Светильники аварийного освещения	0,01	0,5	21	ВВГнг 3x1,5
Киноаппаратная РУк-1,2	11,1	12,5	21	ВВГнг 5x1,5
Мотор	0,18	0,5	21	ВВГнг 3x1,5
Мотор	0,18	0,5	21	ВВГнг 3x1,5
Усилитель	0,34	0,5	21	ВВГнг 3x1,5
Лампа ДКСШ	2,85	3	21	ВВГнг 3x1,5
Лампа ДКСШ	2,85	3	21	ВВГнг 3x1,5
Вспомогательное оборудование	1,14	1,6	21	ВВГнг 3x1,5
Перемоточная	0,96	1,6	21	ВВГнг 3x1,5
Освещение к/аппаратной	1,71	2	21	ВВГнг 3x1,5

Продолжение таблицы 5.2

Светильники аварийного освещения	0,03	0,5	21	ВВГнг 3x1,5
ЩОк-1,2	3,76	4	21	ВВГнг 5x1,5
Световой карниз	2,66	3	21	ВВГнг 3x1,5
Потолочные светильники	0,55	1	21	ВВГнг 3x1,5
Прожектора дежурного освещения	1,38	1,6	21	ВВГнг 3x1,5
Светильники аварийного освещения	0,06	0,5	21	ВВГнг 3x1,5

### 5.3 Выбор трансформаторов тока

В ВРУ в двух шкафах учета и на ШНН силового трансформатора предполагается установка счетчиков и измерительных приборов. Для их подключения необходимо выбрать трансформаторы тока. Трансформаторы тока выбираются из условия  $I_{н.тт} \geq I_p$ , где  $I_{н.тт}$  – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока. Выбор представлен в таблице 5.3 [19].

Таблица 5.3 – Выбор трансформаторов тока

Наименование электроприемника	$I_p$ , А	$I_{н.тт}$ , А	Марка
ШНН	190,3	200	T-0,66 200/5
ВРУ	190,3	200	T-0,66 200/5

## 6 Расчет токов короткого замыкания

Проверки автоматических выключателей осуществляются путем нахождения 3-фазных токов КЗ [4,8].

Проверка производится от ШНН до светильников аварийного освещения кинозала.

Расчетную схема от трансформатора до электроприемника представлена на рисунке 6.1:

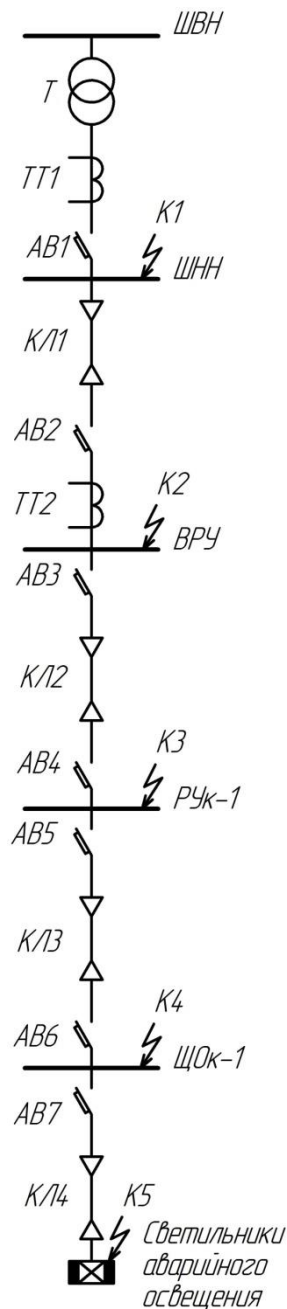


Рисунок 6.1 – Расчетная схема

Затем нужно из расчетной схемы сделать схему замещения. Для этого нужно найти параметры замещения каждого элемента.

Параметры системы:

$$S_K = 100 \text{ МВА};$$

реактивное сопротивление системы находится по формуле (6.1):

$$x_C = \frac{U_6^2}{S_K} \cdot 10^3; \quad (6.1)$$
$$x_C = \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^3 = 1,6 \text{ мОм.}$$

Параметры трансформатора ТМГФ-СЭЩ 1600/10/0,4:

$$S_H = 1600 \text{ кВА};$$

$$\Delta P_{кз} = 16,5 \text{ кВт};$$

$$u_K = 6 \%;$$

полное сопротивление трансформатора находится по формуле (6.2):

$$z_T = \frac{u_K}{100} \cdot \frac{U_6^2}{S_H} \cdot 10^3; \quad (6.2)$$
$$z_T = \frac{6}{100} \cdot \frac{0,4^2}{1,6} \cdot 10^3 = 6 \text{ мОм};$$

активное сопротивление трансформатора находится по формуле (6.3):

$$r_T = \Delta P_{кз} \cdot \frac{U_6^2}{S_H^2} \cdot 10^3; \quad (6.3)$$
$$r_T = 0,0165 \cdot \frac{0,4^2}{1,6^2} \cdot 10^3 = 1,03 \text{ мОм};$$

реактивное сопротивление трансформатора находится по формуле (6.4):

$$x_T = \sqrt{z^2 - r^2}; \quad (6.4)$$

$$x_T = \sqrt{6^2 - 1,03^2} = 5,91 \text{ мОм.}$$

Параметры трансформаторов тока представлены таблице 6.1:

Таблица 6.1 – Параметры трансформаторов тока

Трансформатор тока	r, мОм	x, мОм
1	0,05	0,07
2	0,05	0,07

Параметры автоматических выключателей представлены таблице 6.2:

Таблица 6.2 – Параметры автоматических выключателей

Выключатель	r, мОм	x, мОм
1	0,73	0,28
2	0,73	0,28
3	8	5
4	8	5
5	8,3	5,1
6	8,3	5,1
7	8,3	5,1

Параметры кабельных линий представлены таблице 6.3:

Таблица 6.3 – Параметры кабельных линий

Кабельная линия	n	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	l, м
1	1	0,27	0,06	67
2	1	12,3	0,126	45
3	1	12,3	0,126	10
4	1	12,6	0,126	60

Активное сопротивление кабельных линий находится по формуле (6.5):

$$r_K = \frac{1}{n} \cdot r_0 \cdot l; \quad (6.5)$$

$$r_{K1} = \frac{1}{1} \cdot 0,27 \cdot 67 = 18,1 \text{ мОм};$$

$$r_{K2} = \frac{1}{1} \cdot 12,3 \cdot 45 = 553,5 \text{ мОм};$$

$$r_{K3} = \frac{1}{1} \cdot 12,3 \cdot 10 = 123 \text{ мОм};$$

$$r_{K4} = \frac{1}{1} \cdot 12,6 \cdot 60 = 756 \text{ мОм}.$$

Реактивное сопротивление кабельных линий находится по формуле (6.6):

$$x_K = \frac{1}{n} \cdot x_0 \cdot l; \quad (6.6)$$

$$x_{K1} = \frac{1}{1} \cdot 0,06 \cdot 67 = 4,02 \text{ мОм};$$

$$x_{K2} = \frac{1}{1} \cdot 0,126 \cdot 45 = 5,67 \text{ мОм};$$

$$x_{K3} = \frac{1}{1} \cdot 0,126 \cdot 10 = 1,26 \text{ мОм};$$

$$x_{K4} = \frac{1}{1} \cdot 0,126 \cdot 60 = 7,56 \text{ мОм}.$$

Схема замещения представлена на рисунке 6.2:



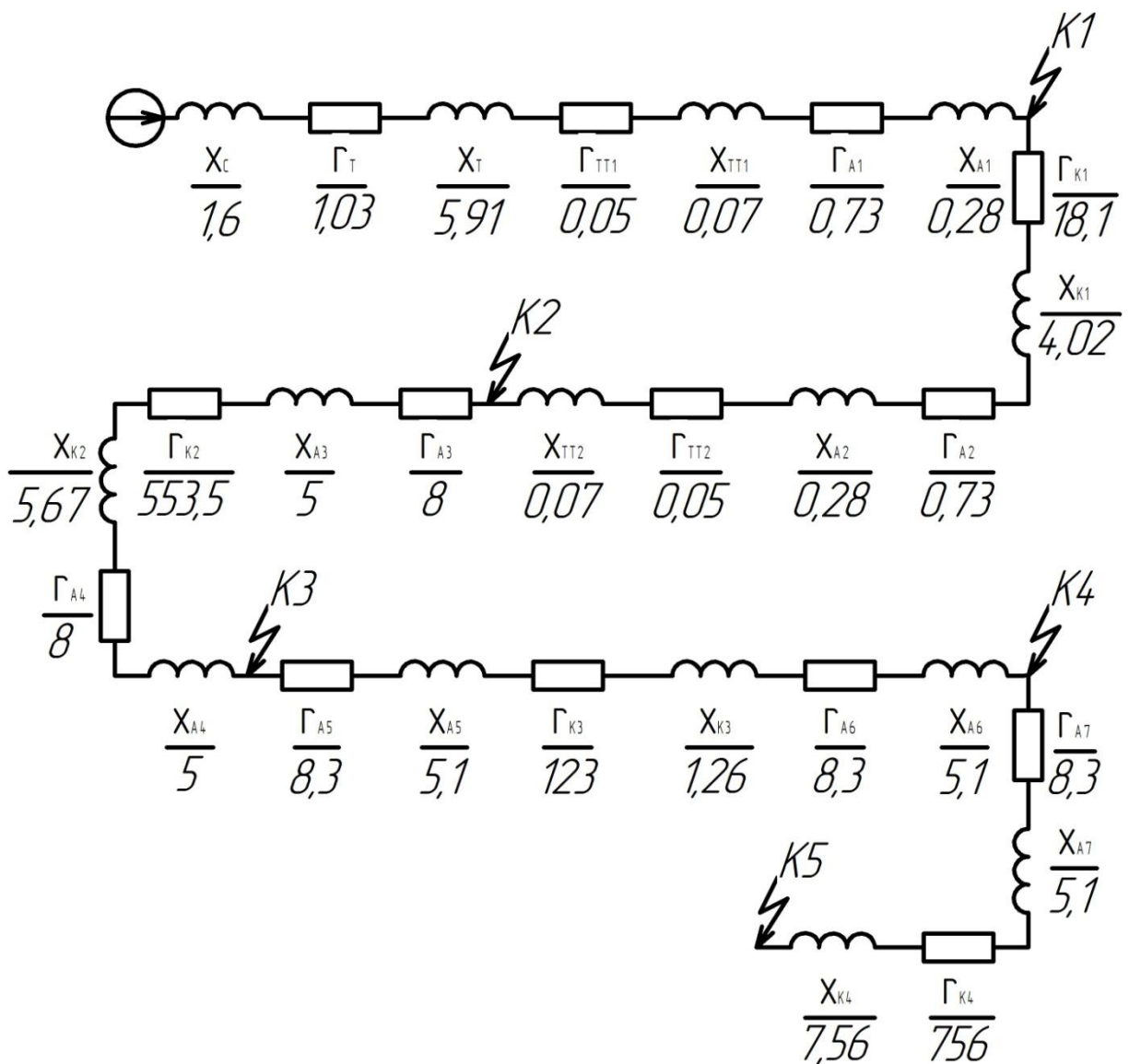


Рисунок 6.2 – Расчетная схема

Суммарное активное сопротивление для точки К1 находится по формуле (6.7):

$$r_1 = r_T + r_{TT1} + r_{A1}; \quad (6.7)$$

$$r_1 = 1,03 + 0,05 + 0,73 = 1,81 \text{ мОм.}$$

Суммарное реактивное сопротивление для точки К1 находится по формуле (6.8):

$$x_1 = x_C + x_T + x_{TT1} + x_{A1}; \quad (6.8)$$

$$x_1 = 1,6 + 5,91 + 0,07 + 0,28 = 7,86 \text{ мОм.}$$

Суммарное полное сопротивление для точки К1 находится по формуле (6.9):

$$z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2}; \quad (6.9)$$

$$z_1 = \sqrt{1,81^2 + 7,86^2} = 8,07 \text{ мОм.}$$

Упрощенная схема замещения для точки К1 представлена на рисунке 6.3:

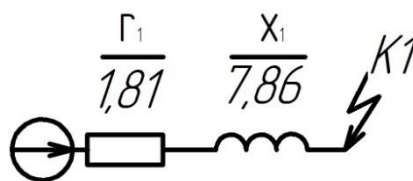


Рисунок 6.3 – Упрощенная схема замещения для точки К1

Суммарное активное сопротивление для точки К2 находится по формуле (6.10):

$$r_2 = r_1 + r_{K1} + r_{ТТ2} + r_{A2}; \quad (6.10)$$

$$r_2 = 1,81 + 18,1 + 0,05 + 0,73 = 20,7 \text{ мОм.}$$

Суммарное реактивное сопротивление для точки К2 находится по формуле (6.11):

$$x_2 = x_1 + x_{K1} + x_{ТТ2} + x_{A2}; \quad (6.11)$$

$$x_2 = 7,86 + 4,02 + 0,07 + 0,28 = 12,2 \text{ мОм.}$$

Суммарное полное сопротивление для точки К2 находится по формуле (6.12):

$$z_2 = \sqrt{r_2^2 + x_2^2}; \quad (6.12)$$

$$z_2 = \sqrt{20,7^2 + 12,2^2} = 24 \text{ мОм.}$$

Упрощенная схема замещения для точки К2 представлена на рисунке 6.4:

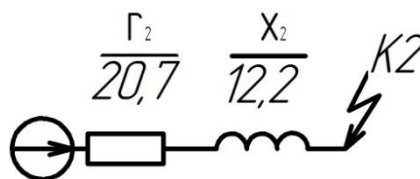


Рисунок 6.4 – Упрощенная схема замещения для точки К2

Суммарное активное сопротивление для точки К3 находится по формуле (6.13):

$$r_3 = r_2 + r_{K2} + r_{A3} + r_{A4}; \quad (6.13)$$

$$r_3 = 20,7 + 553,5 + 8 + 8 = 590,2 \text{ мОм.}$$

Суммарное реактивное сопротивление для точки К3 находится по формуле (6.14):

$$x_3 = x_2 + x_{K2} + x_{A3} + x_{A4}; \quad (6.14)$$

$$x_3 = 12,2 + 5,67 + 5 + 5 = 27,9 \text{ мОм.}$$

Суммарное полное сопротивление для точки К3 находится по формуле (6.15):

$$z_3 = \sqrt{r_3^2 + x_3^2}; \quad (6.15)$$

$$z_3 = \sqrt{590,2^2 + 27,9^2} = 590,9 \text{ мОм.}$$

Упрощенная схема замещения для точки К3 изображена на рисунке 6.5:

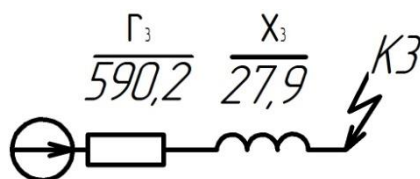


Рисунок 6.5 – Упрощенная схема замещения для точки К3

Суммарное активное сопротивление для точки К4 находится по формуле (6.16):

$$r_4 = r_3 + r_{K3} + r_{A5} + r_{A6}; \quad (6.16)$$

$$r_4 = 590,2 + 123 + 8,3 + 8,3 = 792,8 \text{ мОм.}$$

Суммарное реактивное сопротивление для точки К4 находится по формуле (6.17):

$$x_4 = x_3 + x_{K3} + x_{A5} + x_{A5}; \quad (6.17)$$

$$x_3 = 27,6 + 1,26 + 5,1 + 5,1 = 39,1 \text{ мОм.}$$

Суммарное полное сопротивление для точки К4 находится по формуле (6.18):

$$z_4 = \sqrt{r_4^2 + x_4^2}; \quad (6.18)$$

$$z_4 = \sqrt{792,8^2 + 39,1^2} = 793,8 \text{ мОм.}$$

Упрощенная схема замещения для точки К4 представлена на рисунке 6.6:

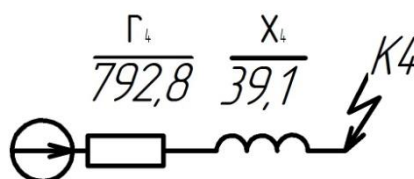


Рисунок 6.6 – Упрощенная схема замещения для точки К4

Суммарное активное сопротивление для точки К5 находится по формуле (6.19):

$$r_5 = r_4 + r_{K4} + r_{A7}; \quad (6.19)$$

$$r_5 = 792,8 + 756 + 8,3 = 1557,1 \text{ мОм.}$$

Суммарное реактивное сопротивление для точки К5 находится по формуле (6.20):

$$x_5 = x_4 + x_{K4} + x_{A7}; \quad (6.20)$$

$$x_5 = 39,1 + 7,56 + 5,1 = 51,8 \text{ мОм.}$$

Суммарное полное сопротивление для точки К5 находится по формуле (6.21):

$$z_5 = \sqrt{r_5^2 + x_5^2}; \quad (6.21)$$

$$z_5 = \sqrt{1557,1^2 + 51,8^2} = 1558 \text{ мОм.}$$

Упрощенная схема замещения для точки К5 представлена на рисунке 6.7:

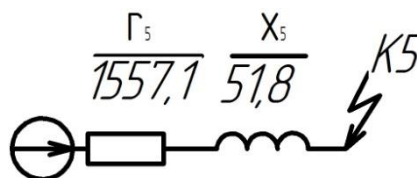


Рисунок 6.7 – Упрощенная схема замещения для точки К5

Далее необходимо найти токи 3-фазного КЗ.

Ток 3-фазного КЗ для точки К1 находится по формуле (6.22):

$$I_{K1} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot z_1}; \quad (6.22)$$

$$I_{K1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 8,07} = 28,6 \text{ кА.}$$

Ток 3-фазного КЗ для точки К2 находится по формуле (6.23):

$$I_{K2} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot z_2}; \quad (6.23)$$

$$I_{K2} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 24} = 9,62 \text{ кА.}$$

Ток 3-фазного КЗ для точки К3 находится по формуле (6.24):

$$I_{K3} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_3}; \quad (6.24)$$

$$I_{K3} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 590,9} = 0,391 \text{ кА.}$$

Ток 3-фазного КЗ для точки К4 находится по формуле (6.25):

$$I_{K4} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_4}; \quad (6.25)$$

$$I_{K4} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 793,8} = 0,291 \text{ кА.}$$

Ток 3-фазного КЗ для точки К5 находится по формуле (6.26):

$$I_{K5} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_5}; \quad (6.26)$$

$$I_{K5} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 1558} = 0,148 \text{ кА.}$$

Далее производится проверка автоматических выключателей из условия, что токи отключения будут выше токов 3-фазного КЗ. Результаты проверки представлены в таблице 6.4:

Таблица 6.4 – Результаты проверки автоматических выключателей

Выключатель	$I_K^{(3)}$ , кА	$I_{откл}$ , кА	Марка
1	28,6	50	NSX250N
2	9,62	35	ВА 88-35
3	0,391	25	ВА 88-32

Продолжение таблицы 6.4

4	0,391	25	BA 88-32
5	0,291	6	S 203-C
6	0,291	6	S 203-C
7	0,148	6	S 201-C

## 7 Расчет заземления

Для заземления предполагается использовать некоторое количество вертикальных заземлителей и один горизонтальный. Необходимо выбрать количество вертикальных заземлителей и проверить соответствие сопротивления заземляющих устройств нормируемому сопротивлению [20].

В таблице 7.1 приведены данные, необходимые при расчете сопротивления заземляющих устройств:

Таблица 7.1 – Данные для расчета сопротивления заземляющих устройств

Наименование	Обозначение, единица измерения	Значение
Нормированное сопротивление заземляющего устройства	$R_H$ , Ом	10
Удельное сопротивление грунта	$\rho$ , Ом · м	150
Диаметр вертикального заземлителя	$d$ , мм	30
Длина электрода	$L$ , м	2,5
Расстояние между электродами	$\alpha$ , м	2,5
Глубина траншеи	$t$ , м	0,5
Ширина полосы горизонтального заземлителя	$b$ , м	0,045

Сопротивление растекания тока вертикального заземлителя представлено в формуле (7.1):

$$R_B = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot (0,5L+t) + L}{4 \cdot (0,5L+t) - L}\right) \right); \quad (7.1)$$
$$R_B = \frac{150}{2 \cdot \pi \cdot 2,5} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot 2,5}{0,03}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot (0,5 \cdot 2,5 + 0,5) + 2,5}{4 \cdot (0,5 \cdot 2,5 + 0,5) - 2,5}\right) \right) = 51,3 \text{ Ом.}$$

Предварительное количество стержней вертикального заземления находится по формуле (7.2):



$$n_0 = \frac{R_0}{R_H}; \quad (7.2)$$

$$n_0 = \frac{51,3}{10} = 5,13.$$

Данное число округляется до  $n_0=6$ . Далее пересчитывается с использованием коэффициента использования  $\eta_B=0,61$ , необходимого для данного количества стержней, по формуле (7.3):

$$n = \frac{R_0}{R_H \cdot \eta_B}; \quad (7.3)$$

$$n = \frac{51,3}{10 \cdot 0,61} = 8,4.$$

Данное число округляется до  $n=10$ .

Длина горизонтального заземлителя находится по формуле (7.4):

$$L_\Gamma = \alpha \cdot n; \quad (7.4)$$

$$L_\Gamma = 2,5 \cdot 10 = 25 \text{ м.}$$

Для дальнейших расчетов необходимы значения коэффициентов использования заземлителей, представленные в таблице 7.2:

Таблица 7.2 – Значения коэффициентов использования заземлителей

Наименование	Обозначение	Значение
Коэффициент использования вертикального заземлителя	$\eta_B$	0,56
Коэффициент использования горизонтального заземлителя	$\eta_\Gamma$	0,4

Сопротивление растекания тока горизонтального заземлителя представлено в формуле (7.5):

$$R_{\Gamma} = 0,366 \cdot \frac{\rho}{L_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}} \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot L_{\Gamma}^2}{b \cdot t}\right); \quad (7.5)$$

$$R_0 = 0,366 \cdot \frac{150}{25 \cdot 0,4} \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot 25^2}{0,045 \cdot 0,5}\right) = 26 \text{ Ом.}$$

Сопротивление растекания тока заземляющих устройств в формуле (7.6):

$$R = \frac{R_{\Gamma} \cdot R_B}{R_B \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \cdot \eta_B \cdot n}; \quad (7.6)$$

$$R = \frac{26 \cdot 51,3}{51,3 \cdot 0,4 + 26 \cdot 0,56 \cdot 10} = 8,03 \text{ Ом.}$$

Полученное сопротивление меньше нормированного, что удовлетворяет условию выбора.

## Заключение

Для аварийного освещения безопасности и эвакуационного выбраны светильники модели БС – 881- 8. Для помещения кассы количество светильников равно 2, для кинозала – 16. Суммарное количество светильников равно 96, суммарная активная мощность светильников составляет 768 Вт.

Расчет мощности производился методом коэффициента спроса. Полная мощность здания кинотеатра составила 125,11 кВА.

Для питания здания кинотеатра и других потребителей электрической энергии выбрана двухтрансформаторная подстанция с трансформаторами ТМГФ-СЭЩ 1600/10/0,4.

Для выбора оборудования рассчитана нагрузка для каждого распределительного пункта.

Далее выбрано электрооборудование:

- выключатели марки NSX250N, ВА 88-35, ВА 88-32, S 203-С, S 201-С;
- кабели марки АВБШв и ВВГнг с различным сечением и количеством жил;
- трансформаторы тока марки Т-0,66 200/5.

Составлена расчетная схема и упрощенные схемы замещения для нахождения токов трехфазного короткого замыкания. Найдены токи для 5 точек: ШНН, ВРУ, РУк-1, ЩОк-1, светильники аварийного освещения. По данным токам произведена проверка автоматических выключателей. Выбранные выключатели прошли проверку.

В качестве заземления выбран контур из вертикальных и горизонтального заземлителей. Сопротивление растекания тока заземляющего контура ниже нормированного сопротивления, что свидетельствует о достаточном количестве вертикальных заземлителей и соответствии условия выбора.

## Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок. М: Энергоатомиздат, 2015. 330 с.
2. ГОСТ Р 55842-2013 Освещение аварийное. Классификация и нормы. Введ. 2014-04-01. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.
3. СНиП 23-05-2010 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. Введ. 2011-01-01. М.: Минрегион России, 2011. 72 с.
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>
5. Анчарова Т.В, Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. 415 с.
6. Winders J.J. Power Transformers: Principles and Applications. New York : Marcel Dekker, 2007. 298 p.
7. Krarti M. Energy-Efficient Electrical Systems for Buildings (Mechanical and Aerospace Engineering Series). Boca Raton : CRC Press, 2017. 512 p.
8. Das J.C. Short-Circuits in AC and DC Systems: ANSI, IEEE, and IEC Standards (Power Systems Handbook Book 1). Boca Raton : CRC Press, 2017. 732 p.
9. Holder R. 2017 Practical Calculations for Electricians. Houston : Brown Technical Publications, 2019. 472 p.
10. Simons R. H., Bean A.R. Lighting Engineering: Applied Calculations. London : Routledge, 2008. 544 p.
11. Аварийный светильник БС-881-8. ООО «Технолог» [Электронный ресурс] URL: <http://zao-tehnolog.ru/page804743> (дата обращения 02.22.2020).
12. Выключатель автоматический 3-полюсный Compact NSX250N. Schneider Electric [Электронный ресурс] URL:

<https://profsector.com/component/16102/vyiklyuchatel-avtomaticheskiiy-compact-nx250n-micrologic2-2-3p-er-250a-50ka-ir-isd-ii-statsionarniy-ruchn-upr-ryichag-peredn-podkl> (дата обращения 02.03.2020).

13. Автоматические выключатели серии ВА. ИЕК [Электронный ресурс] URL: <http://zao-tehnolog.ru/avtomaty-va-88> (дата обращения 02.03.2020).

14. Автоматические выключатели серии S200 хар С. АBB [Электронный ресурс] URL: <https://xn----8sbelcsnbf2avfz4m.xn--plai/catalog/abb-s201/> (дата обращения 02.03.2020).

15. Кабель АВБШв 4х120. ООО «ЭКС» [Электронный ресурс] URL: <https://e-kc.ru/cena/cable-avbshv-4-120> (дата обращения 03.03.2020).

16. Кабель ВВГнг 5х1,5. ООО «ЭКС» [Электронный ресурс] URL: [https://e-kc.ru/cena/cable-vvgng-5-1\\_5](https://e-kc.ru/cena/cable-vvgng-5-1_5) (дата обращения 03.03.2020).

17. Кабель ВВГнг 3х1,5. ООО «ЭКС» [Электронный ресурс] URL: [https://e-kc.ru/cena/cable-vvgng-3-1\\_5](https://e-kc.ru/cena/cable-vvgng-3-1_5) (дата обращения 03.03.2020).

18. Кабель ВВГнг 5х70. ООО «ЭКС» [Электронный ресурс] URL: <https://e-kc.ru/cena/cable-vvgng-5-70> (дата обращения 03.03.2020).

19. Трансформатор тока Т-0,66 200/5. «МФК ТЕХЭНЕРГО» [Электронный ресурс] URL: <https://www.texenergo.ru/catalog/item.html/te00350005> (дата обращения 03.03.2020).

20. Примеры расчёта заземляющего устройства [Электронный ресурс] URL: <https://energetik.com.ru/zazemlenie-elektrostanovok/primery-raschyotazazemlyayushhego-ustrojstva> (дата обращения 16.03.2020).